



**University of  
Zurich**<sup>UZH</sup>

**Zurich Open Repository and  
Archive**

University of Zurich  
University Library  
Strickhofstrasse 39  
CH-8057 Zurich  
[www.zora.uzh.ch](http://www.zora.uzh.ch)

---

Year: 2020

---

## **Vergleich von Transponder- und Thermometer-Methode zur Erfassung der Bebrütungsaktivität von Wasserramseln *Cinclus cinclus***

Hegelbach, Johann ; Reinhardt, Luzian

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-194325>

Journal Article

Published Version

Originally published at:

Hegelbach, Johann; Reinhardt, Luzian (2020). Vergleich von Transponder- und Thermometer-Methode zur Erfassung der Bebrütungsaktivität von Wasserramseln *Cinclus cinclus*. *Vogelwarte*, 58(4):403-409.

# Vergleich von Transponder- und Thermometer-Methode zur Erfassung der Bebrütungsaktivität von Wasserramseln *Cinclus cinclus*

Johann Hegelbach & Luzian Reinhardt

---

Hegelbach J & Reinhardt L 2020: Reliability and accuracy of transponders and thermologgers reconsidered in incubation activities of Dippers *Cinclus cinclus*. Vogelwarte 58: 403–409.

Chronology and temporal data are fundamental parameters for many questions in avian biology, including time and energy budgets and breeding success. However those data are still gathered by different methods and with different accuracy. We observed the incubation activities at three clutches of Dippers, a species in which only the female incubates the eggs for a period of  $\pm 17$  days. We measured the effective duration of incubation by recording the eggs' temperature with thermologgers and by the registration of entrances and exits at the nest using passive integrated transponders (PIT). Thereafter, we collated these two time sets to obtain the calibrated and real time set "Reference". Based on these data the female incubates on average 21:14 hours per day and interrupts incubation 20.7 times per day (day 1 and day 17 omitted). Reliability and accuracy are high in both methods: the number of entrances and exits was correct for 89.6 to 94.3% in thermologgers, for 93.9 to 96.3% in transponders. The total incubation time was registered by thermologgers with an accuracy of 99.4 to 99.9%, by transponder of 98.8 to 99.8%. Such an accuracy is by far sufficient for physiological analysis. As thermologgers are much cheaper and easier to practice they are appropriate in species where only one parent incubates. In all cases with more than one incubating individual transponders are indispensable.

✉ JH: Universität Zürich-Irchel, Institut für Evolutionsforschung, Winterthurerstrasse 190, CH-8057 Zürich.  
E-Mail: johann.hegelbach@ieu.uzh.ch  
LR: Böschacherstrasse 10B, CH-8624 Grüt

---

## 1 Einleitung

Der Aufwand für die Bebrütung des Geleges ist eine bedeutende Belastung im Leben eines Vogels. Bei den meisten Passeriformes muss diese Leistung das Weibchen allein erbringen, was letztlich zur Weibchenlastigkeit der Jungenaufzucht führt (Ligon 1999; Conway & Martin 2000; Goymann 2020). Bei alleiniger Bebrütung durch das Weibchen ist diese Phase relativ gut zu überwachen, wenn sich aber beide Geschlechter an der Bebrütung beteiligen wird eine Datenaufnahme schwierig und zeitaufwendig (Coe et al. 2015; Smith et al. 2015). Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahrzehnten verschiedene Hilfsmittel entwickelt, wie Temperaturlogger (Haftorn 1988; Wheelright & Beagley 2005); Telemetrieeräte (Mohus 1983) oder Video-Kameras (McQuillen & Brewer 2000; Pierce & Pobprasert 2007; Ribic et al. 2012). Seit den 1990er Jahren werden auch Transponder verwendet (PIT; passive integrated transponders; u.a. Fiedler 2009; Moks et al. 2016; Schlicht & Kempnaers 2018). Unter normalen Umständen überdauern Trans-

ponder selbst langlebige Vogelarten (Becker et al. 2001). Probleme kann die Applikation bereiten, aber einmal mit einem Transponder versehen, bleiben die Träger ungestört und müssen nicht wiedergefangen werden. Bei Studien rund um individuelles Verhalten bei der Fortpflanzung wie Fütterungsfrequenzen (Freitag et al. 2001), Aufwand der Geschlechter, Helfer am Nest oder auch Fremdbesucher (Wischhoff et al. 2018) ist diese Methode allen anderen überlegen.

An drei Brutten der Wasserramsel *Cinclus cinclus* haben wir von elektronischen Thermometern und von Transpondern gelieferte Datensätze miteinander abglichen. Auf diese Weise sondierten wir das Potenzial an Genauigkeit für diese Messungen entweder mit der Thermometer- oder der Transponder-Methode, sowie mit einer Kombination der beiden Methoden. Wir versuchten damit den zeitlichen Aufwand der Wasserramsel-Weibchen bei der Bebrütung ihres Geleges möglichst wirklichkeitsnah zu erfassen.

## 2 Untersuchungsgebiet und Besiedlung

Diese Studie führten wir während der Brutsaison 2002 an der Sihl, einem mittelgroßen Fluss südlich von Zürich im schweizerischen Mittelland durch. Im Durchschnitt führt die Sihl eine Wassermenge von 4 m<sup>3</sup>/sec. Der lokale Wasserramsel-Bestand wird seit 1990 farbig beringt und beobachtet (Hegelbach 2001). Auf einer Meereshöhe von 410 bis 540 mNN und einer Flussstrecke von 25 km brüten rund 30 Paare. Innerhalb dieses langfristig überwachten Gebietes konzentrierten wir uns auf eine zentral liegende Strecke von 6 km, wo wir zuvor ein hinreichendes Angebot an gut zugänglichen Nisthilfen angebracht hatten.

## 3 Methoden

### 3.1 Technische Installationen und Bruten

Kurz nach dem Beginn des Nestbaus montierten wir an den Eingängen der Nisthilfen (Neströhren oder Nestkasten) eine Empfangsantenne von 16 cm Durchmesser, etwas entfernt den Datenlogger (Trovan Euro 8100) und die Stromquelle (12 V Bleibatterie VARTA 45 Ah; Abb. 1). Die Logger haben einen Strombedarf von  $\pm 150$  mA/h, und die Batterien mussten wöchentlich gegen frisch geladene ausgetauscht werden. Die Empfangsantenne hatten wir selbst entwickelt und getestet:



Abb. 1: Neststandort der Wasserramsel in einem Bachdurchlass mit betriebsbereiter Transponderanlage. Oben die Neströhre mit der schwarzen Empfangsantenne am Eingang. Rechts oben der Datenlogger und unten der geöffnete Batteriekasten. – Arrangement of Dipper's nestbox, logger and current supply.

Mit einem 0,25 mm dicken Messingdraht waren 25,2 Windungen erforderlich, um die benötigte Resonanzfrequenz von 125 kHz zu erreichen. Zusätzlich brachten wir in der Nestmulde Temperatur-Sensoren an, welche in ausgeblasenen Eiern von Wasserramseln in Kunstharz eingegossen waren. Das Verbindungskabel führten wir durch den Nestnapf. Als Datensammler diente ein Thermologger des Typs HOBO StowAway 32, welcher in Nestnähe in einem wassersicheren Gehäuse untergebracht war.

### 3.2. Applikation der Transponder

Aufgrund der Erfahrungen von Becker & Wendeln (1997) hatten wir uns entschlossen, die Transponder auf der Brustseite der Vögel zu implantieren (siehe auch Nicolaus 2008; Oswald et al. 2018). Die Vögel wurden gefangen, die unteren Brustfedern benetzt, weggestrichen und die Hautoberfläche desinfiziert. Mit einer gerundeten Pinzette hoben wir das Integument seitlich neben dem Brustbeinkamm etwas an und schoben die Injektionskanüle flach unter die äußerste, kompakte Hautschicht. Der reiskorngroße Transponder kommt dabei in das spongiöse, nur wenig durchblutete Zwischengewebe unter der Haut, aber außerhalb der Muskulatur zu liegen (McLelland 1990; p. 17). Unmittelbar nach dem Rückzug der Kanüle verklebten wir die Einstichstelle mit einem Histokleber (surgical glue; ein Schnellkleber auf Acrylbasis) um ein bewegungsbedingtes Austreten des Transponders zu verhindern.

### 3.3. Zeitpunkt und Reaktion auf die Applikation der Transponder

Da die Wasserramsel im Untersuchungsgebiet ein Standvogel ist, konnten wir die Applikation mehrere Wochen vor der Brutsaison durchführen: Vom Dezember 2001 bis Februar 2002 versahen wir elf Weibchen und elf Männchen mit Transpondern. Zehn dieser Vögel kontrollierten wir später als Wiederfänge; in allen Fällen war der Einstich infektionsfrei verwachsen, kaum mehr erkennbar und der Transponder funktionierte einwandfrei (vergl. Ratnayake et al. 2014). Ein Weibchen verlor den Transponder innerhalb von zwei Wochen und musste zur erneuten Applikation wiedergefangen werden. Von den 22 besenderten Individuen gruppierten sich 15 zu acht Brutpaaren (ein Männchen war polygam) innerhalb der Untersuchungsstrecke. Drei weitere Individuen konnten wir mehrere Tage nach der Applikation außerhalb dieser Strecke beobachten, die übrigen vier nur am Freilassungstag selbst. Von den erwähnten 15 Individuen, die 2002 brüteten, konnten wir in der folgenden Saison 2003 noch elf, in der Saison 2004 noch neun und in der Saison 2005 immer noch sechs Individuen als Brutvögel beobachten. Ein Männchen trug den immer noch funktionierenden Transponder länger als sechs Jahre.

Für die kombinierte Temperatur- und Transponder-Messung hatten wir sechs Bruten vorgesehen. Eine dieser Bruten wurde wenige Tage nach der Eiablage aufgegeben. Bei einer weiteren erhielten wir keine auswertbaren Transponder-Daten, weil das Kabel zum Logger nicht isoliert war und die Übertragung durch die Hochspannung der nahen Eisenbahn gestört wurde. An einer dritten Brut wurde das Sonden-Ei aus dem Napf geschafft. Schließlich lieferten drei Weibchen mit ihren Bruten durchgehende Datensätze von beiden Systemen über die gesamte Bebrütungszeit von 17 Tagen. Dabei war „Hebise“ eine Erstbrut mit fünf Eiern, „Sihlbrugg“ und „Eichbach“ waren Zweitbruten mit drei, resp. vier Eiern.

### 3.4 Auswertung der Datensätze

In den jeweils 17 Tagen wurden vom Weibchen von Hebise insgesamt 2.187, von jenem bei Sihlbrugg 2.081 und von jenem bei Eichbach 4.448 Logger-Impulse aufgezeichnet (zusammen 8.716). Diese hohen Zahlen entspringen dem Umstand, dass die Vögel bei einem Durchgang nicht genügend schnell die Empfangsantenne passieren oder sich auf ihrer Höhe hin und her bewegen. Aus diesem Grund eliminierten wir alle Folge-Impulse mit Abständen von < 60 s. Dadurch erhielten wir für jedes Gelege einen Transponder-Rohdatensatz. Diese Zeitreihe klassifizierten wir anhand der Zeitabstände und teilten die Hälfte mit den kürzeren Abständen den Brutpausen, die andere Hälfte den Bebrütungsphasen zu. Danach überprüften wir die Zeitreihe jeden Tages vom Morgen ab dem ersten Ausflug, anschließend vom Abend her vor dem letzten Einflug nach Unstimmigkeiten in der Aus-/Einflug-Abfolge. Offensichtliche Lücken ergänzten wir, indem wir den Durchschnitt der drei nächstliegenden Pausen einsetzten. Die auf diese Weise revidierten Transponder-Sätze enthielten nun bei Hebise 558 Durchgänge (17 nachträglich eingesetzt), bei Sihlbrugg 706 (22 eingesetzt) und bei Eichbach 828 (14 eingesetzt).

Unabhängig von den Transponderdaten analysierten wir die Temperatur-Kurven und legten die Aus-/Einflugs-Zeitpunkte fest. Dabei wurde visuell aufgrund des Kurvenverlaufs entschieden (plötzlicher Abfall um > 5 °C von einer über längere Zeit eingehaltenen, weit über der Umgebungstemperatur liegenden und nur  $\pm 3$  °C fluktuierenden Bebrütungstemperatur; Wiedererreichen und Einpendeln auf diese Temperatur nach einem markanten Anstieg). Diese Zeitreihen ergaben für jedes Gelege einen Temperatur-Satz von ebenfalls 17 Tagen Länge.

Danach errichteten wir für jede Brut den Referenz-Satz, der dem effektiven Ablauf entspricht oder ihm am ehesten

gleichkommt. Als Basis dienten die beiden Sätze Thermometer und Transponder. Erwartungsgemäß konnten wir mit Hilfe des Satzes Thermometer einige Aus-/Einflug-Zeitpaare berichtigen. Andererseits konnten wir mit Hilfe des Satzes Transponder die Unsicherheiten bei der Interpretation der Schwankungen der Temperaturkurve lösen. Das Beispiel in Abb. 2 macht die diesbezüglichen Grenzen der Interpretation deutlich. Dies betraf z. B. den Temperaturabfall beim Wenden der Eier oder beim Aufstehen des Weibchens von den Eiern. Solche Situationen konnten wir nur mit Hilfe des Transponder-Datensatzes richtig einordnen, da der Temperaturabfall nicht durch Aus-/Einflug-Impulse bestätigt worden war. Der daraus hervorgegangene Referenz-Satz entspricht der Wirklichkeit, außer, wenn bei einer bestimmten Brutpause sowohl beim Wegflug wie auch beim Einflug kein Impuls registriert worden wäre. Diesen Fall müssen wir ausschließen.

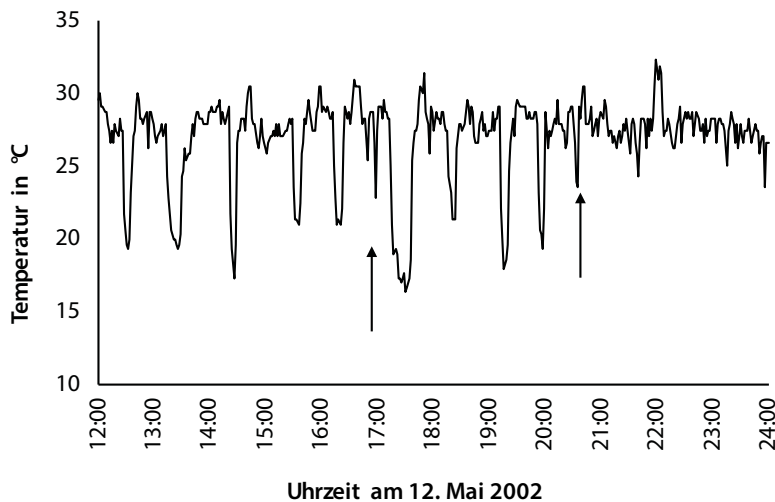
## 4 Resultate

### 4.1 Zuverlässigkeit und Qualität der beiden Methoden

Im Vergleich mit der Referenz liefert die einfache Thermometer-Methode mit einer Zuverlässigkeit von 89,6 bis 95,2 % recht gute Resultate (Tab. 1). Grundsätzlich ist die Lage der Sonde entscheidend für die Güte der Messungen. Erwartungsgemäß kamen die Interpretationsfehler bei jenen Brutpausen vor, die wegen ihrer zeitlichen Kürze einen zu kleinen Temperatur-Abfall bewirkten. Andererseits sind die seltenen Über-Interpretationen eine Folge der Relativität der Temperatur im Tages- und auch im Jahresverlauf (langsamere Abkühlung bei höherer Umgebungstemperatur).

**Tab. 1:** Genauigkeit der Thermometer- und der Transponder-Messung im Vergleich mit der aus beiden Methoden erstellten Referenz an drei Brutten der Wasseramsel während der 17 Tage der Bebrütung. – *Accuracy of passing numbers and incubation time at three nests of Dippers throughout 17 days of incubation. 'Thermometer' is based on the course of temperature at the clutch, while 'Transponder' data are derived from passings of the female at the nest. 'Referenz' are effective values, derived from a combination of the two methods.*

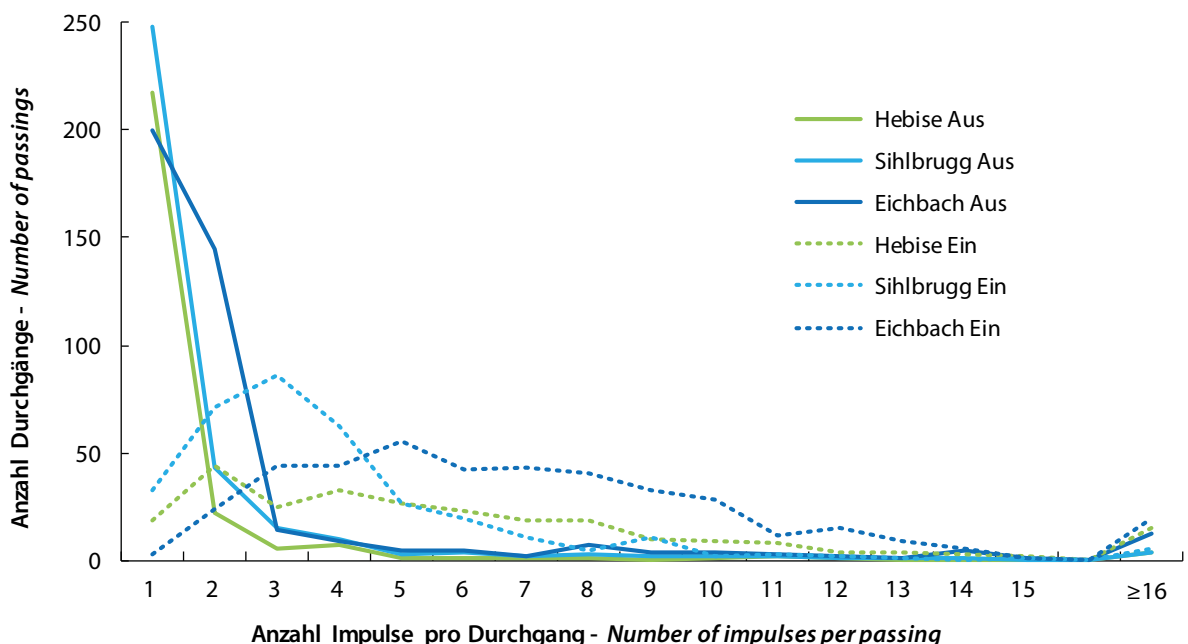
Neststandort		Hebise		Sihlbrugg		Eichbach	
Art der Brut		Erstbrut		Zweitbrut		Zweitbrut	
Zeitraum der Bebrütung		24.3.-9.4.		8.5-24.5		15.5.- 31.5	
Durchgänge (Wegflug/Einflug)		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Thermometer	korrekt erfasst	526	94,3 %	672	95,2 %	758	89,6 %
	verpasst	32	5,7 %	34	4,8 %	88	10,4 %
Transponder	korrekt erfasst	535	95,9 %	680	96,3 %	794	93,9 %
	verpasst	23	4,1 %	26	3,7 %	52	6,1 %
Referenz	effektiv	558	100,0 %	706	100,0 %	846	100,0 %
Dauer (h:min)		Std:Min	Prozent	Std:Min	Prozent	Std:Min	Prozent
Thermometer	registrierte Dauer	363:46	99,4 %	354:32	99,4 %	355:54	99,9 %
	Fehler	2:09	0,6 %	2:14	0,6 %	0:28	0,1 %
Transponder	registrierte Dauer	365:11	99,8 %	355:19	99,6 %	352:11	98,8 %
	Fehler	0:44	0,2 %	1:27	0,4 %	4:11	1,2 %
Referenz	effektiv	365:55	100,0 %	356:46	100,0 %	356:22	100,0 %



**Abb. 2:** Temperaturkurve mit Bebrütungsphasen und -pausen beim Nest Sihlbrugg in der zweiten Tageshälfte des 12. Mai 2002. Die beiden Pfeile zeigen auf Schwierigkeiten bei der visuellen Taxierung: Um 16:56 war das Nest nicht verlassen worden; um 20:31 fand tatsächlich eine kurze Brutpause statt. – *Diagram of temperature showing hatching sequences and breeding pauses at the nest Sihlbrugg for the second part of May 12, 2002. The two arrows mark the limits of visual taxation: at 16:56 the nest has not been left; but at 20:31 a short pause had occurred.*

Die Transponder-Methode ist mit 93,9 bis 96,3 % richtigen Anzeigen nur unwesentlich genauer, obwohl sie den gewünschten Parameter direkt und individuenbezogen misst. Es summierten sich hier 101 Fehler: 20 Impulse fehlten (sicherer Durchgang, aber kein Impuls aufgezeichnet), weitere 34 Fehler waren entstanden, weil Impulse durch den < 60 s-Filter fälschlicherweise eliminiert worden waren, und weitere 47 Fehler waren als Richtungsfehler bei der Zuweisung als ‚aus‘ oder als ‚ein‘ infolge fehlender Impulse entstanden (Tab. 1).

Während der eigentlichen Bebrütungszeit sind die Fehler zufällig verteilt und in keiner Phase besonders gehäuft. Die kleine Zahl der Impulse am ersten Tag der Bebrütung wird durch die länger dauernde Ablage des letzten Eies bewirkt; andererseits ist die größere Zahl der Bewegungen am Schlupftag mit den kurzen Flügen zur Entfernung der Eischalen und den beginnenden Fütterungen der Nestlinge zu erklären. Zwingenderweise kommt die Thermometer-Methode vor allem am Schlupftag an ihre Grenzen: An diesem Tag fehlten mit



**Abb. 3:** Anzahl der Transponder-Impulse pro effektivem Verlassen (Aus) oder pro effektiver Rückkehr (Ein) bei den drei Nestern (total n = 8716 Impulse). Das Verlassen erfolgt schnell und bewirkt meistens nur einen Impuls; die Rückkehr erfolgt eher zögerlich und löst meistens mehrere Impulse aus. – *Numbers of impulses per effective departure and per effective return to the nest (a total of 8716 impulses for all 3 nests). At departure (aus) only one or few impulses were triggered, while the return is running undecisively, indicated by several impulses (ein).*

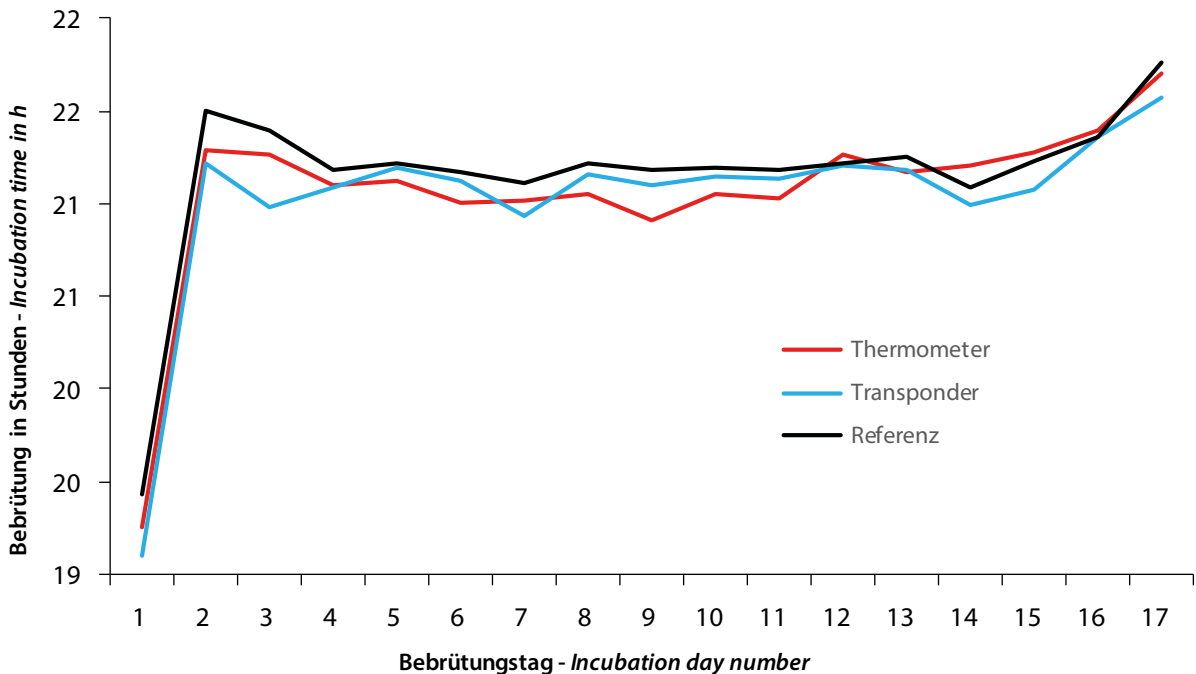


Abb. 4: Durchschnittliche tägliche Bebrütungszeit der drei Bruten, ermittelt mit den Methoden Thermometer, Transponder und Referenz. Am Tag 1 wurde das letzte Ei gelegt, der Tag 17 entspricht dem Schlupftag. – *Daily incubation time determined by the two methods 'Thermometer' and 'Transponder' and verified by 'Reference'. (day 1 = last egg laid; day 17 = hatching day).*

dieser Methode bei Heibise sechs, bei Sihlbrugg drei und bei Eichbach 15 Aus-/Einflugsregistrierungen, d.h. 38 %, 18 % und 34 % aller Fehler kamen an diesem einen Tag zustande.

#### 4.2 Phänologie der Bebrütung

Von den drei Bruten erhielten wir in jeweils 17 Tagen zusammen 8.716 Weibchen-Impulse (ungefiltert). Die weitaus meisten dieser Transponderimpulse wiesen einen Abstand von 0 bis 1 s auf. Die wenigsten dieser kurzen Folgen sind wirkliche Durchgänge, sondern Mehrfach-Impulse bei einem einzigen Durchgang. Mit großer Regelmäßigkeit wird die Brutpause ohne Zögern begonnen, hingegen erfolgt die Rückkehr zögerlich: Beim Wegflug werden ein oder nur wenige Impulse ( $1 - 75; \pm \text{StdAbw} = 2,5 \pm 5,1$ ; Median = 1;  $n = 2.534$ ; alle 3 Bruten), bei der Rückkehr hingegen signifikant mehr Impulse erzeugt ( $1 - 74; \bar{x} \pm \text{StdAbw} = 6,0 \pm 5,4$ ; Median = 5;  $n = 6.182$ ; t-test,  $p < 0,001$ ; Abb. 3).

In den mittleren 15 Bebrütungstagen verläuft das Muster der Bebrütungs- und Pausenphasen gleichmäßig. Erwartungsgemäß uneinheitlich ist der Ablauf am letzten Legetag (Tag 1 der Bebrütung) und dem Schlupftag (Tag 17; Abb. 4). In den mittleren 15 Bebrütungstagen macht das Weibchen im Durchschnitt 20,7 (11 – 30) Pausen pro Tag. Während der Hellzeit sitzt es in Phasen von durchschnittlich 34,9 Minuten (3 Minuten – 3,2 Stunden; StdAbw = 21,8 Minuten,  $n = 885$ ) auf dem Gelege und

macht dann eine Pause von 8,0 Minuten (0,3 – 31,1 Minuten; StdAbw = 3,6 Minuten,  $n = 930$ ). In diesen 15 Tagen dauert die tägliche Bebrütung im Durchschnitt 21:14 Stunden (20:17 – 22:07 Stunden; StdAbw = 24:10 Minuten;  $n = 45$ ), umgekehrt beliefen sich die Pausen auf täglich 2:46 Stunden. Die Frühbrut Heibise wurde im Durchschnitt 21:35 Stunden pro Tag bebrütet, die Spätbrut Sihlbrugg nur 21:13 und jene vom Eichbach 20:54 Stunden (ohne signifikante Unterschiede;  $p > 0,05$ ; t-Test). Diese Verkürzung kann mit der längeren Hellzeit und den steigenden Umgebungstemperaturen gegen den Sommer hin erklärt werden.

#### 5 Diskussion

Der Rhythmus der Bebrütung weicht bei der Wasserramsel nicht von jenem anderer Singvögel ab. Bei 95 nordamerikanischen Arten folgten auf Brutphasen von durchschnittlich 38 Minuten jeweils Pausen von 10 Minuten (Conway & Martin 2000). Die resultierende Gesamtdauer der Bebrütung wiederum ist stark von der Umgebungstemperatur (u. a. Ospina et al. 2018) abhängig. Dementsprechend verkürzt sich die Bebrütungsdauer bei jahreszeitlich späteren Bruten. Vereinfachend wird bei Singvögeln der Ablegetag des zweitletzten Eis als Brutbeginn festgelegt. Auch für die Wasserramsel ist dieser Wert eine brauchbare Annäherung, obwohl der Brutbeginn kein fixer Zeitpunkt ist, sondern



eine allmählich einsetzende Phase. Häufig schläft das Weibchen schon in den Nächten vor der ersten Eiablage und dann während der Eiablage im Nest und gibt Wärme an die bereits gelegten Eier ab. Auch während des Legevorgangs selbst wird Wärme abgegeben. Dadurch ist nicht nur die Kadenz der eigentlichen Eiablage, sondern auch die vorzeitige Wärmeabgabe die Ursache für das gestaffelte Schlüpfen der Nestlinge.

Die Kombination von Thermometer und Transponder hat den Vorteil, dass fehlende Impulse eruiert werden können und dass dank der Temperaturkurve die Impulse korrekt als Aus- oder als Einflüge festgelegt werden können. Zwar sind für die Bearbeitung der üblichen energetischen und physiologischen Fragen beide Methoden einzeln angewandt hinreichend genau, aber mit ihrer Kombination wird die Zuverlässigkeit und Aussagekraft erhöht. Bei der Thermometer-Methode muss am Nest direkt hantiert werden, was vor allem bei offen brütenden Arten zu Schwierigkeiten führen kann. Viele Vogelarten tolerieren in diesem Bereich keine Veränderungen oder ihnen fremde Eingriffe (u. a. Smith et al. 2015). Häufig kann die Sonde nicht vor der heiklen Phase der Eiablage eingesetzt werden. Dieses Stadium wird dann nur unvollständig erfasst. Die Qualität der Daten ist sehr von der Lage der Sonde abhängig. Die Sonde reagiert zeitverzögert und kurze Brutphasen werden nicht angezeigt. Eine relativ tiefe Außentemperatur ist für die Qualität der Daten förderlich. Die Temperaturkurve muss interpretiert werden und die Güte des Resultats ist erfahrungsabhängig. Insgesamt ist die Thermometer-Methode einfach in der Anwendung und sie ist breit erprobt. Die Geräte sind relativ billig, wenig störungsanfällig, leicht, und der Stromverbrauch sehr gering. Der brütende Vogel wird aber nicht individuell erfasst, was vor allem bei Studien an Vogelarten, bei denen beide Geschlechter brüten, ein unüberwindbarer Nachteil ist.

Die Transponder-Geräte sind rund zehnmal teurer, und ihre Handhabung ist anspruchsvoller. Von Vorteil ist, dass individuell registriert wird und Impulse von „falschen“ Individuen nicht vorkommen können. Zudem muss die Empfangsantenne nicht direkt am Nest montiert werden und Manipulationen am Nestnapf sind nicht nötig. Die Anlage kann zu jedem Zeitpunkt montiert werden und auch die Fertigstellung des Nestes oder die Eiablage können erfasst werden. Allerdings kann ohne Zugang zum Stromnetz oder in einem unwegsamen Untersuchungsgebiet die Stromversorgung problematisch sein (Gewicht der Batterien, Ladegerät, Austauschbatterien). Die Justierung der Registrierungs-Empfindlichkeit der Anlage ist nicht einfach. Beim Wegfiltern der Kurz-Intervalle gehen Feinheiten und damit gerade der Vorteil gegenüber der Thermometer-Methode verloren. Das Ausbleiben von Impulsen kann unterbunden werden durch eine Verbreiterung der Empfangsantenne. Das Problem der zu vielen (und nichts aussagenden) Impulse wird dadurch aber größer. Die Vorbehalte gegenüber der

Transponder-Methode liegen vor allem bei der Applikation des Senders. Bedenken bestehen bezüglich der Größe der zu besendernden Vogelart (Oswald et al. 2018; Schlicht & Kempnaers 2018), und es ist einsichtig, dass bei kleineren Arten die Applikation anspruchsvoller ist. Nicloaus et al. (2008) oder Schroeder et al. (2011) haben aber nachgewiesen, dass selbst bei der Kohlmeise *Parus major*, resp. dem Haussperling *Passer domesticus* die subcutane Applikation das Überleben oder die Fitness dieser Vögel nicht beeinträchtigt. Alternativ kann bei gekügigten Vögeln oder Offenlandarten der Transponder am Lauf angebracht werden, meist in Kombination mit dem Identifikationsring (Matechou et al. 2015). Für dickichtbewohnende oder wasserlebende Arten wie die Wasserramsel ist diese Variante aber ungeeignet. Bei Arbeiten auf Populationsniveau, wo die Farbmarkierung der Vögel unerlässlich ist, fällt das Fang-Argument weg, da zur Beringung sowieso gefangen werden muss und die Applikation gleichzeitig erfolgen kann.

## 6 Zusammenfassung

An drei Brutten der Wasserramsel haben wir während der Bebrütungsphase die Aktivität des brütenden Weibchens gemessen. Dazu haben wir auf die Messung mit Thermologgern und die Transponder-Registrierung zurückgegriffen. Durch Kombination der Datensätze dieser beiden Methoden haben wir einen wirklichkeitsnahen Referenzsatz erstellt. Danach sassen in den mittleren 15 Tagen (ohne den letzten Legetag und ohne den Schlupftag) der Bebrütung die Weibchen durchschnittlich 21:14 Stunden auf dem Gelege, unterbrochen von 20,7 Brutpausen. Bei einem Methodenvergleich zeigt sich, dass zwar ein Fehlerpotenzial vorhanden ist, dass aber beide Methoden auch einzeln angewandt recht genaue Resultate liefern können. Bei der Anzahl der Weg- und Einflüge erreichte die Thermometer-Methode eine Genauigkeit von 89,6 – 94,3 %, jene der Transponder 93,9 – 96,3 %. Die Bebrütungszeit wurde mit einer Genauigkeit von 99,4 – 99,9 %, resp. 98,8 – 99,8 % erfasst. Für die üblichen physiologischen Berechnungen sind diese Werte hinreichend genau. In der Anwendung ist die Transponder-Methode anspruchsvoller als jene mit Thermologgern. Eindeutig im Vorteil ist erstere bei Populationsstudien, in welchen die Identifikation der Individuen vorausgesetzt wird.

## 7 Literatur

- Becker PH & Wendeln H 1997: A new application for transponders in population ecology of the Common Tern *Sterna hirundo*. Condor 99: 534-538.
- Becker PH, Wendeln H & Gonzalez-Solis J 2001: Population dynamics, recruitment, individual quality and reproductive strategies in Common Terns *Sterna hirundo* marked with transponders. Ardea 89: 241-252.
- Coe BH, Beck ML, Chin SY, Jachowski CM & Hopkins WA 2015: Local variation in weather conditions influences incubation behavior and temperature in a passerine bird. J Avian Biol. 46: 385-394.

- Conway CJ & Martin TE 2000: Evolution of passerine incubation behavior: influence of food, temperature, and nest predation. *Evolution* 54: 670-685.
- Fiedler W 2009: New technologies for monitoring bird migration and behaviour. *Ring. & Migration* 24: 175-179.
- Freitag A, Martinoli A & Urzelai J 2001: Monitoring the feeding activity of nesting birds with an autonomous system: case study of the endangered Wryneck *Jynx torquilla*. *Bird Study* 48: 102-109.
- Goymann W 2020: Males paving the road to polyandry? Parental compensation in a monogamous nesting cuckoo and a classical polyandrous relative. *Ethology* 126: 436-444.
- Haftorn S 1988: Incubating female passerines do not let the egg temperature fall below the 'physiological zero temperature' during their absences from the nest. *Ornis Scand.* 19: 97-100.
- Hegelbach J 2001: Wassertemperatur und Blütenphänologie als Anzeiger des früheren Brutbeginns der Wasseramsel im schweizerischen Mittelland. *J. Ornithol.* 142: 284-294.
- Matechou E, Cheng SC, Kidd LR & Garroway CJ 2015: Reproductive consequences of the timing of seasonal movements in a nonmigratory wild bird population. *Ecology* 2015: 1641-1649.
- Ligon JD 1999: The evolution of avian breeding systems. Oxford Univ. Press.
- McLelland J 1990: A colour atlas of avian anatomy. Wolfe Publishing, London.
- McQuillen H & Brewer L 2000: Methodological considerations for monitoring wild bird nests using video technology. *J. Field Ornithol.* 71: 167-172.
- Moks K, Tilgar V, Thomson RL, Calhim S, Järvisjö PE, Schuett W, Velmala W & Laaksonen T 2016: Predator encounters have spatially extensive impacts on parental behaviour in a breeding bird community. *Proc. R. Soc. B* 283: 20160020.
- Mohus I 1983: Temperature telemetry from small birds. *Ornis Scand.* 14: 273-277.
- Nicolaus M, Bouwman KM & Dingemanse NJ 2008: Effect of PIT tags on the survival and recruitment of Great Tits *Parus major*. *Ardea* 96: 286-292.
- Ospina EA, Merrill L & Beson TJ 2018: Incubation temperature impacts nestling growth and survival in an open-cup nesting passerine. *Ecol. Evol.* 8: 3270-3279.
- Oswald KN, Evlambiou A, Ribeiro AM & Smit B 2018: Tag location and risk assessment for passive integrated transponder-tagging passerines. *Ibis* 160: 453-457.
- Pierce AJ & Pobprasert K 2007: A portable system for continuous monitoring of bird nests using digital video recorders. *J. Field Ornithol.* 78: 322-328.
- Ratnayake CP, Morosinotto C, Ruuskanen S, Villers A & Thomson RL 2014: Passive Integrated Transponders (PIT) on a small migratory passerine bird: absence of deleterious short and long-term effects. *Ornis Fennica* 91: 244-255.
- Ribic CA, Thompson FR & Pietz PJ 2012: Video Surveillance of Nesting Birds. *Studies in Avian Biology* 43. Univ. Calif. Press.
- Schlicht E & Kempenaers B 2018: The immediate impact of ringing, blood sampling and PIT-tag implanting on the behaviour of Blue Tits *Cyanistes caeruleus*. *Ardea* 106: 39-50.
- Schroeder J, Cleasby IR, Nakagawa S, Ockendon N & Burke T 2011: No evidence for adverse effects on fitness of fitting passive integrated transponders (PITs) in wild House Sparrows *Passer domesticus*. *J. Avian Biol.* 42: 271-275.
- Smith JA, Cooper CB & Reynolds SJ 2015: Advances in techniques to study incubation. In: Deeming DC & Reynolds SJ (Hrsg): *Nests, Eggs and Incubation*: 179-195. Oxford Univ. Press.
- Wheelright N & Beagley JC 2005: Proficient incubation by inexperienced Savannah Sparrows *Passerculus sandwichensis*. *Ibis* 147: 67-76.
- Wischhoff U, Marques-Santos F, Ardia DR & Roper JJ 2015: White-rumped Swallows prospect while they are actively nesting. *J. Ethol.* 33: 145-150.